

ÉRTEKEZÉSEK EMLÉKEZÉSEK

BÉLL BÉLA

A LÉGÁRAMLÁS
EGHAJLATI JELLEGZETESSÉGEI
A KÁRPÁT-MEDENCE
TÉRSÉGÉBEN

04



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

ÉRTEKEZÉSEK
EMLÉKEZÉSEK

ÉRTEKEZÉSEK EMLÉKEZÉSEK

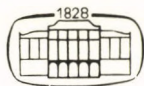
SZERKESZTI
TOLNAI MÁRTON

BÉLL BÉLA

A LÉGÁRAMLÁS
ÉGHAJLATI
JELLEGZETESSÉGEI
A KÁRPÁT-MEDENCE
TÉRSÉGÉBEN

AKADÉMIAI SZÉKFOGLALÓ

1983. JANUÁR 17.



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

A kiadványsorozatban a Magyar Tudományos Akadémia 1982. évi CXLII. Közgyűlése időpontjától megválasztott rendes és levelező tagok székfoglalói — önálló kötetben — látnak napvilágot.

A sorozat indításáról az Akadémia főtítkárnak 22/1/1982. számú állásfoglalása rendelkezett.

ISBN 963 05 3695 1

© Akadémiai Kiadó, Budapest 1984, Béll Béla

Printed in Hungary

BEVEZETÉS

A Kárpátok és a Keleti-Alpok hegyvonulatával határolt Kárpát-medence éghajlati jellegzetességei elődeink elismerésre méltó munkássága révén régtől fogva ismertek.

Kegyelettel emlékezem ebből az alkalomból a székely származású *Berde Áronra* (1819–1892), akit 1858-ban, *Toldy Ferenc* főtitkársága idején a *Magyar Tudományos Akadémia* tagjai közé választott, miután az 1847-ben megjelent első agrometeorológiai vonatkozású művét (Légtüneménytan 's a' két Magyarhon égaljviszonyai) Marczibányi-jutalommal tüntette ki. Ugyancsak kegyelettel emlékezem *Hegyföly Kabosra* (1847–1919), a tudós türkevei papra, aki amatőr klimatológusként nemzetközi szinten is maradandó eredményekkel gazdagította a „Magyar Szent Korona Országainak” éghajlattant.

Különös tisztelettel adózik az utókor *Róna Zsigmond* (1860–1941) és *Réthly Antal* (1879–1975) személyének, akik hosszú életük során Magyarország éghajlatának számos jellegzetességét tárták fel. *Róna* írta az első magyar nyelvű összefoglaló „Éghajlattant”, amely a hazai éghajlatkutatók számára ma is alapvető forrásmunkául szolgál. A 96 éves

korában elhunyt *Réthy* pedig haláláig szorgalmasan gyűjtötte a hazai megfigyeléseket.

Szívesen emlékezem vissza a magyar egyetemek első klimatológus professzoraira: *Bacsó Nándorra* (1904–1974), *Berényi Dénesre* (1900–1971), *Száva-Kováts Józsefre* (1898–1980) és *Wagner Richárdra* (1905–1972), nemkülönben számos, ma is élő utódaikra, valamint az 1870-ben létesült *Meteorológiai és Földdelejességi M. Kir. Központi Intézet* (most *Országos Meteorológiai Szolgálat*) észlelőire, akik szorgalmasan gyűjtötték a klimatológiai feldolgozások nélkülözhetetlen alapanyagát, az OMSZ több évtizedes sorozatokból álló „adatkincsét”.

Végül, de természetesen nem utolsósorban, köszönettel tartozom az OMSZ jelenlegi vezetőségének azért, hogy támogatásukkal a most elmondandó összeállítás elkészülhetett.

Elődeink klimatológiai feldolgozásai a *felszínközeli* légkör éghajlati jellegzetességeire irányultak, de feltételezték azt — és ahol lehetett, rá is mutattak arra —, hogy a *légkör felszínközeli és magasabb* rétegei nem függetlenek egymástól, s a teljes éghajlati kép nem nélkülözheti a *térbeliséget*.

Az első magassági (*aerológiai*) mérések néhány évi próbálkozás után — amikor is a *Magyar Földrajzi Társaság* megbízásából végeztek Budapesten magassági (*pilot*)

szélméréseket —, 1913-ban indultak meg ugyancsak Budapesten, majd az első világháború okozta kényszerszünet után 1927-ben folytatódtak. Az *aerológiai hálózat* több vidéki állomással bővülve ma is működik, publikált magaslégköri adatai több évtizedes sorozatot nyújtanak a feldolgozások számára. A szervezés és az adatgyűjtés, feldolgozás értékelésekor elismeréssel emlékezem vissza *Marczell György* (1871–1943) és *Tóth Géza* tanítómestereimre, valamint *Bucsy József* (1914–1980) kedves munkatársamra.

Az első *aeroklimatológiai* feldolgozás Magyarországon 1941-ben jelent meg (*Béll*, 1941), s ezt a mai napig különböző 5–10 éves adatsorok felhasználásával számos más követte. Ezekben — alkalmazkodva a magyar éghajlattan gazdag múltjához — kettős feladatot tűztünk magunk elé. Megállapítandónak ítéltük:

a) a *felszínközeli légréteg* már ismert jellegzetességeinek alakulását, érvényesülését a *súrlódási réteg* (kb. 1 km) fölötti „*szabad légkörben*”,

b) a *szabad légkörre* jellemző s az ott felismert légköri folyamatok klimatológiai vizsgálatát.

A következőkben a *Kárpát-medence* légterében talált áramlási jellegzetességek *aeroklimatológiai* kutatása során nyert fontosabb eredményeket foglalom össze a teljesség igénye nélkül, beleépítve az *általános cirkuláció* globális, energetikai szemléletébe.

AZ ÁLTALÁNOS CIRKULÁCIÓ GLOBÁLIS, ENERGETIKAI SZEMLÉLETE

A *természetfilozófia* több évezredes történetén vezérfonalként húzódik végig az a sarkalatos tétel, amely szerint az anyag a tértől, az időtől, mindenekelőtt a *mozgástól* nem választható el. Úgy is mondhatnánk, hogy *az anyag állandó mozgásban van, megjelenési formája a mozgás.*

Ez az anyagtulajdonság a Föld geoszférái közül legjellegzetesebben az anyagát tekintve legmozgékonyabb *atmoszférában* jut érvényre, amikor is a légkör „gyors rendszerként” kapcsolódik a geoszférák kölcsönhatásába.

Lényegében az atmoszferikus levegő mindig mozog. Állapotváltozásai: az *időjárás* folyamatai, elsősorban mozgásával kapcsolatosak. A különböző természetű és élettartamú légköri mozgásrendszerek egymásba fonódva alkotják a meteorológia komplex folyamatát: a *légkör általános cirkulációját.*

Az általános cirkulációban foglalt levegőmozgások vízszintes komponenseit iránnyal és nagysággal ellátva *szélnek* nevezzük. Tapasztalat szerint nagyságrendekkel múlja felül a légmozgások függőleges komponensét.

Az általános cirkuláció bonyolult mozgásrendszeréből a klimatológia statisztikai

módszereivel kiválaszthatók egyes állandó jellegű szélrendszerek, amelyek a hosszú megfigyelési sorok középértékeiben is megjelennek. Erre, az ún. *permanens* cirkulációs rendszerre az időjárástól függően különböző, változó jellegű légmozgások helyeződnek, amelyek gyakran felülmúlják és felismerhetetlenné teszik a *permanens* cirkulációt. Ezek a kevésbé rendezett légmozgások egybefoglalva a *turbulens* szelek összességét alkotják.

Az általános cirkulációt tehát a permanens szélrendszerek és a turbulens szelek együttesének tekinthetjük.

A következőkben a *troposzféra* (10–11 km alatt) mozgásjelenségeivel foglalkozunk. Megkülönböztetjük a felső (3–5 km fölött) és az alsó (3–5 km alatt) troposzférát. Mindkettőben keressük globális méretekben a *permanens* és a *turbulens* cirkuláció jellegzetességeit.

A *felső troposzférában* a *permanens* cirkuláció túlsúlyban van a *turbulens* szelekkel szemben. Itt a troposzféra elsődleges hőmérsékleteloszlása (a sarkokon hideg, az Egyenlítő táján meleg van) egy-egy pólusközpontú hemiszférikus légörvényt alakít ki. Ez a pólusok felől nézve az északi félgömbön az óramutató járásával ellentétes, a délin ezzel megegyező forgása révén a mérsékelt övek zónájában mint *permanens nyugati áramrendszer* jelenik meg. Jellegzetes tulajdonsága dinamikus *labilitása*,

amely abban jut kifejezésre, hogy benne a termikus okokból felhalmozódó *potenciális energia* időnkint az áramlás turbulens hullámaiban átalakul a mozgást fenntartó *kinetikus energiává*.

Az *alsó troposzféra* meglehetősen bonyolult cirkulációjában a turbulens szelek vannak túlsúlyban a permanens cirkulációval szemben. A felső troposzféra turbulens *hullámai* alatt zárt *légörvények* jelennek meg, amelyek a permanens nyugati áramlással rendszerint kelet felé sodródnak. A térben és időben változó áramlási viszonyokat a több kilométer magas *hegyrendszerek* áramlásmódosító hatásai tovább bonyolítják.

Ebben a szemléletben a turbulens komponensek a permanens áramlás *zavarait* jelentik. Ezek azonban nem lényegtelen velejárói az általános cirkulációnak, mivel az utóbbinak energetikai és transzportfolyamatai a turbulens komponensek nélkül nem lennének érthetők.

Mindenesetre a cirkuláció zavarait magának a cirkulációnak energiakészlete előbb-utóbb felőrli. A zavar elmúltával (elsősorban a felső troposzférában) újból helyreáll a permanens áramlásnak potenciálisan *energiagyűjtő* állapota, amelynek során a permanens erőterek egyensúlyba jutnak, eredőjük eltűnik, s a levegő egyenes vonalú pályán egyenletesen halad. Az energigyűjtő szakasz egyensúlyi, labilizálódó

állapotát bizonyos idő elteltével újból az *energia-átalakulás* turbulens szakasza váltja fel. A két szakasz ezután lüktetésszerűen ismétlődik. A *lüktetés* mechanizmusa kellőképpen még nem ismert, így a szakaszosság — lokálisan mintegy 10 nap nagyságrendűnek becsült — időszaka csupán mint valószínűségi változó vehető figyelembe az időjárás fejlődésére irányuló következtetéseinkben.

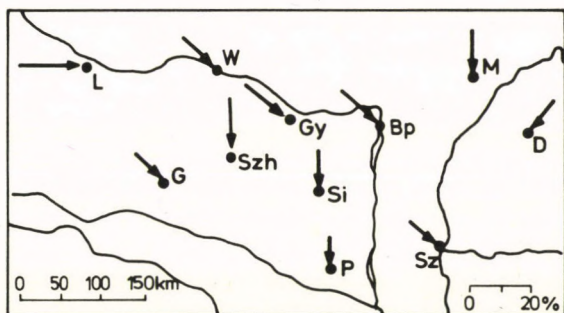
A földi légkörben tapasztalt mozgások különböző *erők* hatására mennek végbe. Ezek között elsősorban említendők a Földön mindenütt jelenlevő és minden időben hatásos *permanens* erőterek, aminők a gravitációs erőből lezármaztatható *légnyomási gradiens-erő*, a földforgásból eredő *eltérítő (Coriolis-) erő*, a *súrlódási erő* (elsősorban a felszínközeli, mintegy 1 km magas súrlódási rétegben) s a légkör ionjaira (főként az ionoszférában) ható földi *elektromágneses erőter*.

A permanens erők között megkülönböztetünk *elsőfajú* permanens erőtereket, amelyek az anyag mozgásától függetlenül is hatnak az anyagra (ilyenek a gravitációs és az elektromágneses erőterek) és *másodfajú* permanens erőtereket, amelyek csak a mozgó anyagra hatnak (eltérítő erő, súrlódási erő).

MAGYARORSZÁG LÉGTERÉNEK ÁRAMLÁSI JELLEGZETESSÉGEI

A Kárpát-medence központi részén fekvő *Magyarországon* a Keleti-Alpok vonulata és a Kárpátok hegylánca jellegzetes áramlási viszonyokat alakít ki. Ennek illusztrálására az 1. ábrán bemutatom néhány jellemző állomáson a felszínközeli leggyakoribb szélirányokat. A nyilak hossza arányos a szélirány relatív gyakoriságával (16-os irányfelosztás). *Linz, Bécs, Győr* leggyakoribb szélirányai a Duna-völgy csatornahatását tükrözik. *Linz, Bécs, Szombathely* és *Grác* leggyakoribb szélirányai a Keleti-Alpok masszívumát körül folyó áramlás nagy gyakoriságát mutatják. *Miskolc* és *Debrecen* északi, északkeleti szelei a Kárpátok északkeleti átjáróján át a Tisza-völgybe áramló levegő útját, ugyanakkor *Győr, Budapest, Szeged* NW szelei a Duna-völgyön át a Balkánra tartó légtömeg-áthelyeződés leggyakoribb útvonalát jelzik.

Általánosságban Magyarország szélviszonyaira, mérsékelt övi fekvésének megfelelően, a permanens W áramlás és a turbulens összetevők változó aránya a jellemző. Ezek együttesét helyi orografikus hatások a felszínközeli rétegben — a helyi klíma sajátjaként — jellegzetesen módosítják.



1. ábra. A leggyakoribb szélirányok a Kárpát-medence térségének felszínközeli rétegében

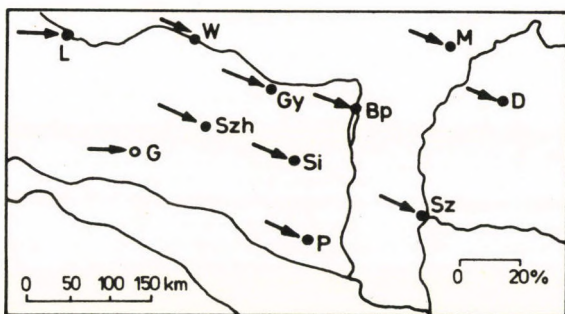
L: Linz	Szh: Szombathely	P: Pécs
W: Bécs	M: Miskolc	Sz: Szeged
G: Grác	D: Debrecen	Bp: Budapest
Gy: Győr	S: Siófok	

A szél mint *vektormennyiség* irányával és nagyságával (a széliránnyal és a szélesebséggel) jellemezhető. A szélesebségnek irány szerinti megoszlása hasonló a szélirányok gyakoriságához, viszont az utóbbinál az áramlást módosító effektusokkal, így az orografikus hatásokkal szemben érzéketlenebb. Ezért a szélirányok gyakorisági eloszlása önmagában is elegendő információt szolgáltat az alsó troposzféra áramlásának orografikus és ciklonális módosulásairól, annál is inkább, mivel ezek elsősorban az irányeloszlásban nyilvánulnak meg.

Az áramrendszerek *energetikai*, valamint *légátviteli* (ún. transzport-) folyamatainak éghajlati vizsgálatakor — amint látni fogjuk — a *szélsebesség* figyelembe veendő, sőt nélkülözhetetlen paramétere az áramlásnak!

Számos aeroklimatológiai feldolgozás (*Béll*, 1954–1964) kimutatta, hogy a troposzféra magasabb szintjein — általában 3–5 km fölött — a gyakori szelek a *nyugati* alapáramlás körül csoportosulnak. Ennek illusztrálására a 2. ábrán bemutatom a 3 km magasságban leggyakoribb szélirányokat. Látható, hogy *az Alpok és a Kárpátok hatása a szélirányok eloszlásában 3 km magasságban* — megegyezésben más feldolgozásokkal — *már nem mutatható ki*.

Miután 3 km magasságban a 8 pilotállomás szélirányeloszlásában szignifikáns különbséget nem találtunk, vagyis ezek *azonos értéktartományból származtathatók*, megengedhető a 8 eloszlás egyesítése és a Kárpát-medencére vonatkoztatása. Az ábrázolásra a szokásos polárkoordináták helyett az ugyancsak szokásos *empirikus gyakorisági sűrűséggörbét* választottam, és összehasonlításként megszerkesztettem az empirikus eloszlás paramétereivel (középérték és szórás) a *Gauss-féle normáeloszlás sűrűséggörbét* is (3. ábra). Amint látjuk, a 16 széliránycsoport gyakorisági eloszlása — meglehetősen nagy konfidencia-intervallumokkal — a 3 km-es szinten megközelítőleg (különösen

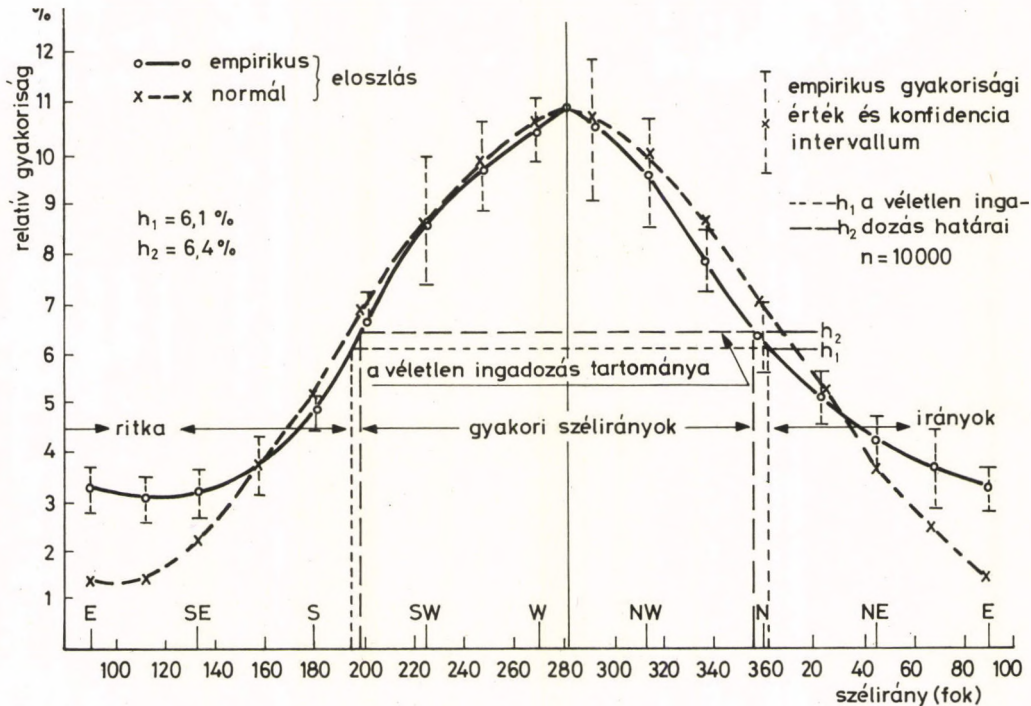


2. ábra. A leggyakoribb szélirányok a Kárpát-medence térségének 3 km magas szintjén

a SSE-S-W-N-NNE iránytartományban) *normáeloszlásnak* tekinthető. A ritka szélirányok tartományában (keleties szelek) tapasztalt eltérés abból adódik, hogy az elméleti Gauss-görbe a nulla gyakorisági szintről indul, az empirikus eloszlásban pedig minden szélirány előfordul. A *gyakori szelek* tartományában (meghatározásukat lásd később) az egyezés gyakorlatilag kielégítő.

A *gyakori és a ritka szélirányok* statisztikailag igazolt kijelölésének feladata lényegében azt jelenti, hogy meghatározandók a relatív gyakoriság azon legmagasabb (h_2), ill. legalacsonyabb (h_1) határértékei, amelyeknek túllépési valószínűsége a feladatnak megfelelően választott kicsiny szám (a meteorológiában hasonló feladatok esetén: 0,27%). A 3. ábrában a h_2 ,

3. ábra. A szélirányok gyakorisága a Kárpát-medence fölött 3 km magasságban 8 magyar pilótállomás adataiból (1954–1963)



ill. a h_1 -gyel jelölt segédvonalak kijelölik az így definiált *gyakori*, ill. *ritka* szélirányokat Magyarország légterének 3 km magas szintjén. A két segédvonal közé esnek a *véletlen ingadozásoknak* tulajdonítható gyakorisági értékek.

Látható a 3. ábrán, hogy 3 km magasságban a gyakori szélirányok a 282° , azaz a *W* szélirány körül csoportosulnak s a szélrőzsa *nyugati* felében a *SSW-N* irányközre terjednek ki, a ritka szélirányok pedig (a h_1 segédvonal alatt) a szélrőzsa *keleti* felét foglalják el. A véletlennek tulajdonítható gyakorisági értékek (az aránylag nagy terjedelmű adatanyagának köszönhetően) szűk sávra szorulnak össze.

A leggyakoribb *W* szélirányban felismerhetjük a mérsékelt öv *permanens nyugati szelét*, amely Magyarország fölött 3 km magasságban kiemelkedően érvényesül.

Amint láttuk, az empirikus sűrűséggörbe elég jó megközelítéssel egyezik az azonos statisztikai paraméterekkel (*közép és szórás*) szerkesztett *normális eloszlás* sűrűséggörbéjével. Az egyezésben rejlő *szimmetria* arra mutat, hogy az eloszlást a leggyakoribb *W* irányt közrefogó *SW* és *NW* negyedek szelei kb. *azonos* hatékonysággal szélesítették, de feltehetően a zavarok elmúltával a 3 km-es szint szele a *permanens W* áramlás felé közeledett s azt gyakran el is érte. Másrésről az eloszlás nagy szórása (84°) és az empirikus

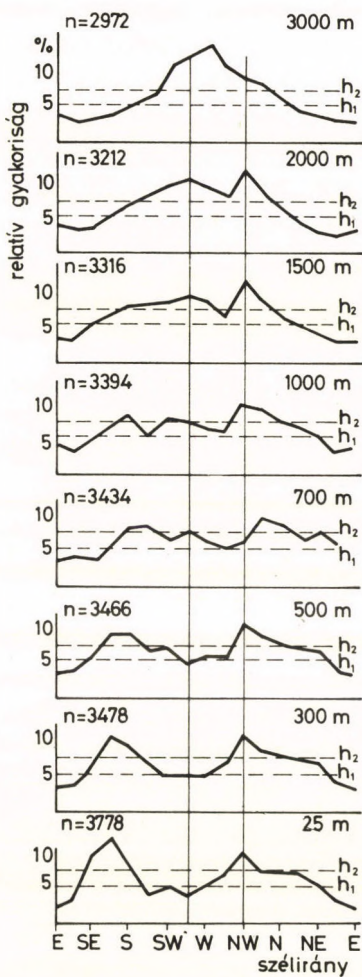
pontok széles *konfidencia-intervalluma* arra mutat, hogy az alapáramlás megzavarása (a turbulens hullámok megjelenése) — ha hatásuk a *SW* és a *NW* kvadránsokból szimmetrikusan érte is a permanens alapáramlás stabilis állapotát — elég gyakran lépett fel ahhoz, hogy a sűrűséggörbét a nagy szórásnak megfelelően kiszélesítse.

Kérdés, hogyan alakul a szélirányok gyakorisága az *alsó troposzférában*?

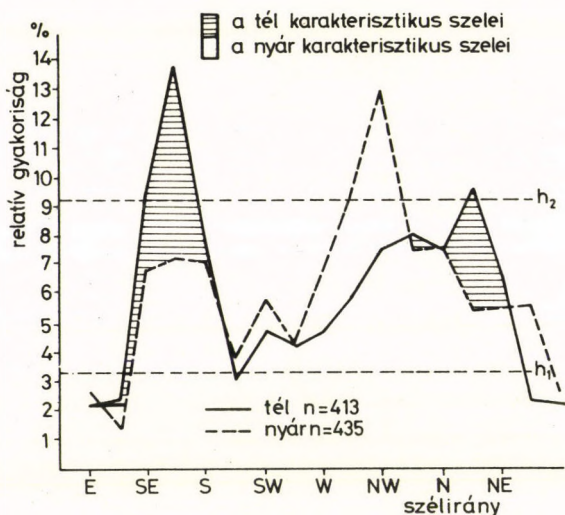
Erre a célra a legszabadabb fekvésű s a közeli környezet domborzati hatásától mentes *Szeged* állomást választottuk ki, amely egyébként a medence szellőzését biztosító, főátviteli *NW* szélirányba esik. A többi állomás — így Budapest is — a közvetlen környezet domborzati hatásával terhelt.

A 4. ábrán látjuk, hogy a Szeged fölötti alsó troposzférában 3 km-től lefelé haladva a *W* alapáramlás gyakorisága csökken, az uralkodó (gyakori) szélirányok a *SW* és a *NW* kvadránsokban két főirány körül csoportosulnak, a nyugati alapáramlás gyakori jellege pedig 2 km alatt lényegében megszűnik.

Ez összhangban van azzal a tapasztalattal, hogy az alsó troposzférában a turbulens keringést nem az alapáramlás *hullámai*, hanem inkább a *zárt örvények* megjelenése, főként a *ciklonális tevékenység* jellemzi. A *W* alapáramlással kelet felé sodródó ciklonok elől-



4. ábra. A szélirányok gyakorisága Szegeden az alsó troposzférában 1954–1963-ig (16 irányköz)



5. ábra. A szélirányok gyakorisága Szegeden télen és nyáron a talajszinten (1954–1963)

dalán leggyakoribbak a *SW*, az elvonuló ciklon hátoldalán pedig a *NW* szelek. Végül is az egymást követő háborgások között az egyensúlyt jelentő *W* alapáramlás az alsó troposzférában *ritkán* alakul ki (a zavarok elmúltával az áramlás közeledik az alapáramláshoz, de azt *ritkán* éri el az újabb zavar fellépte miatt).

Az évszakos feldolgozás kimutatta (l. az 5. ábrán Szeged évszakos szélirány-gyakoriságait), hogy az a csoport, melyben a leggyakoribb

szélirány 3 km-től lefelé haladva a *W* alapáramlástól a *S* felé tolódik el, a *téli* félére, az pedig, amelyben a *N* felé helyeződik át (Szeged fölött a *NW*-et éri el), a *nyárra* jellemző.

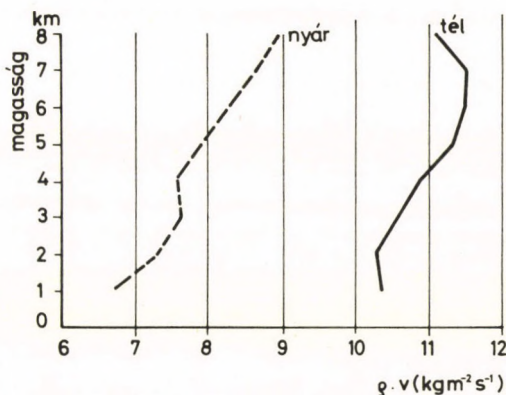
Az alsó troposzférának ezt a jellegzetességét valószínűleg a télen gyakoribb *mediterrán*, pontosabban *adriai*, nyáron pedig az *óceáni* (*atlanti*) hatások nagy gyakorisága idézi elő.

Az 5. ábrán megfigyelhetjük a *tél* ún. *karakterisztikus* (a nyárról télre megszaporodó) szélirányait (sraffozott területek), valamint a *nyár* karakterisztikus szélirányait (üres területek). A télre jellemző, alig gyakori *NE* széliránycsoport a télen itt gyengén jelentkező *kontinentális* hatásra, a nyárra jellemző *NW* szélcsoport pedig az erősebben érvényesülő *atlanti* hatásra enged következtetni. A téli kontinentális és a nyári óceáni hatás (az ún. *európai monszun*) tisztábban jelenik meg a következő feldolgozásban.

KONTINENTÁLIS ÉS ÓCEÁNI HATÁS AZ ÁRAMIMPULZUS FÜGGŐLEGES VÁLTOZÁSÁBAN

A szélvektor két adatán túlmenőleg nagyon értékes adat a szélvektor függőleges változásának (*fordulásának*) jellemzője. A szél függőleges változásával együtt változik a tömegnek és a szélesebségnek szorzata (mv), amelyet a fizikában *impulzus*nak neveznek. A meteorológiában a tömeg helyett a *levegő sűrűségét* írják az impulzus kifejezésébe. Az így kapott $\rho \cdot v$ szorzat nem más, mint az egységnyi felületen az időegység alatt átáramló tömeg. Ezért megkülönböztetésül a $\rho \cdot v$ szorzatot *áramimpulzusnak* (Stromimpuls) nevezzük.

Az amerikai Clayton és a francia Egnel felhőhuzam-észlelések alapján, majd a magyar Berkes (1959) feltételezték, hogy az áramimpulzus abszolút értéke (a $\rho \cdot v$ szorzat) poszférában közel állandó érték. A feltétel mögött az a körülmény rejlik, hogy a két tényező függélyes menti változása ellenkező értelmű. Ez a sejtés a magasabb rétegekben nem bizonyul általános légköri törvénynek a szélesebség értékének termikus okokra visszavezethető tendenciái miatt (6. ábra). Még a troposzférában sem közömbösek a szorzat állandóságának szempontjából a szélesebség függélyes változásának fordulatai. Az ábrából

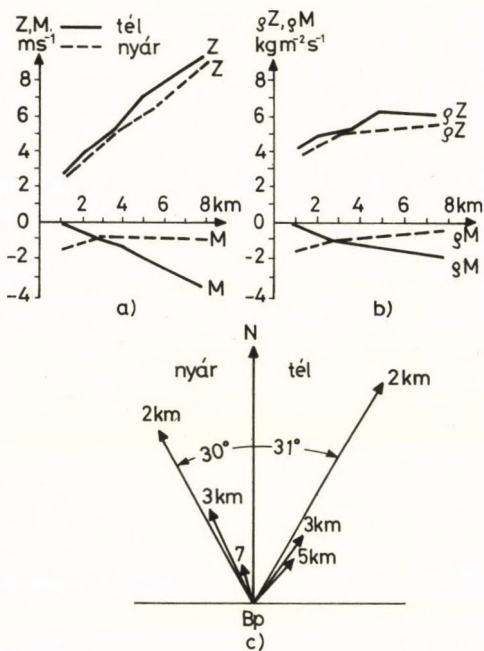


6. ábra. Az áramimpulzus függőleges változása a Buda-fölötti troposzférában télen és nyáron (1959–1963)

látjuk, hogy az áramimpulzus függélyes menti változásának *tendenciájában* (növekedésében) a *szélsébségnek* felfelé tapasztalt erős növekedése, télen nagyobb *számértékében* pedig a *sűrűség* hatása érvényesül.

Margules egyensúlyi tétele geosztrofikus egyensúly esetén összefüggést ad az áramimpulzus *függőleges* változása és a levegősűrűség *vízszintes* változása között.

A 7. ábrán láthatjuk Budapest fölött a szélsébség (*a*) és az áramimpulzus (*b*) zonális és meridionális komponenseinek (ρZ , ρM) változását a magassággal télen és nyáron. A meridionális komponensek téli és nyári ellen-



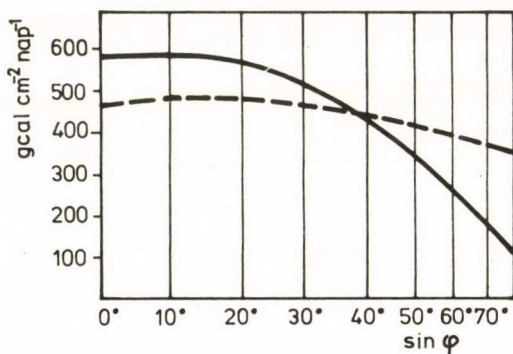
7. ábra.

- a) a szélsébség zonális (Z) és meridionális (M) komponenseinek változása a magassággal a Budapest fölötti troposzférában télen és nyáron (1959–1963)
- b) az áramimpulzus zonális ($q \cdot Z$) és meridionális ($q \cdot M$) komponenseinek változása a magassággal a Budapest fölötti troposzférában télen és nyáron (1959–1963)
- c) a horizontális sűrűség növekedés vektorának elhajlása az északi iránytól (N) a Budapest fölötti troposzférában télen és nyáron (1959–1963)

tétes változása jellemző mindkét vektorra. *Margules* tételével, átmenve a vízszintes sűrűségváltozás vektorára, kitűnik, hogy Budapest fölött (és valószínűleg általában a Kárpát-medence fölött) a vízszintes sűrűségnövekedés vektora télen az északi iránytól kelet, nyáron nyugat felé hajlik el annak jeléül, hogy télen az eurázsiai kontinens erősen lehűlt tömbje, nyáron pedig az Észak-Atlanti-óceán hűvös víztömegei éreztetik hatásukat a Magyarország fölötti sűrűség, ill. hőmérsékleti mezők kialakulásában. Ez a kontinentális-óceáni hatás felfelé gyengülve (különösen télen) az egész troposzférában megfigyelhető (Béll, 1963).

HŐMÉRSÉKLETI ADVEKCIÓ ÉS HŐSZÁLLÍTÁS A KÁRPÁT-MEDENCE LÉGTERÉBEN

Ismeretes, hogy a Föld különböző zónái eltérően gazdálkodnak a napsugárzás elnyelt energiájával. Az alacsonyabb szélességeken (az északi félgömbön az Egyenlítőtől a 38°N szélességi körig) a felszín és a légkör egy átlagos évben több sugárzási energiát abszorbeál, mint amennyit kisugárzás által veszít, a magasabb szélességeken pedig a veszteség meghaladja a bevételt (8. ábra).



8. ábra. A felszín és a légkör által abszorbeált sugárzási energia (kihúzott görbe) és az ugyaninnen hőmérsékleti sugárzással távozó energia (szaggatott görbe) az északi félgömb meridiánjának évi átlagában (*Houghton nyomán*)

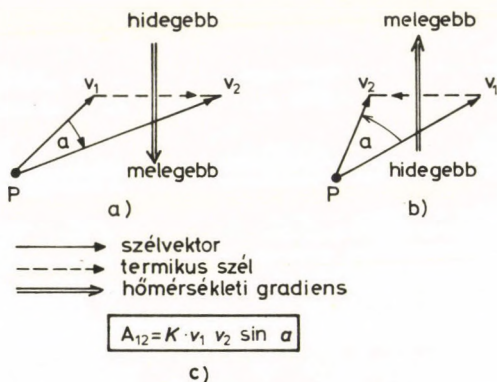
Mínthogy a tapasztalat szerint a trópusi övben hosszú idő alatt sem halmozódik fel határtalanul a hő és a magasabb szélességek hőmérséklete sem süllyed egy bizonyos egyensúlyi hőmérséklet alá, feltehető, hogy az egyes szélességi zónák átlagos (egyensúlyi) hőmérsékletének fennmaradását a szélességi körökön a pólus felé átlépő hőfluxus biztosíthatja. Ez a hőfluxus Budapest szélességi körén ($47^{\circ}31'N$): $10^{17} \text{ Kcal.nap}^{-1}$ nagyságrendű.

Ismeretes az is, hogy a hőfluxust a légkör általános cirkulációja tartja fenn. Ennek a folyamatnak keretében advektált hő vándorol át a Kárpát-medencén, s ennek egy részét a medence légtere saját egyensúlyi hőmérsékletének fenntartására visszatartja. Ennek az energetikai folyamatnak részletei a hazai széladatok útján bizonyos mértékig tisztázhatók.

*

Ha a szél valamely elemi térségbe az ott levőnél melegebb vagy hidegebb levegőt szállít, azaz a térség levegőjét melegíti, vagy hidegebb levegővel cseréli fel, a lokális hőmérséklet-változás folyamatát *hőmérsékleti advekciónak* nevezzük. Szokásos dimenziója: $^{\circ}C/időegység$ (nap, év), jelentése: a hőmérsékleti advekció révén az időegység alatt (nap, hó, év) bekövetkezett pozitív vagy negatív *lokális hőmérséklet-változás*.

A dinamikus meteorológia ismert tétele szerint: ha a szabadlégkör valamely elemi térségének környezetében vízszintesen hőmérséklet-különbség van (azaz a horizontális hőmérsékleti mezőnek — skaláris mező — nullától különböző lokális gradiense létezik), akkor a térségben a szélvektor a függőleges mentén, azaz a magassággal változik, mégpedig úgy, hogy a vízszintes hőmérséklet-növekedés irányába nézve a szél felfelé jobbról balra fordul (9. ábra), ellenkező esetben fordítva. A hőmérsékleti



9. ábra.

- a) pozitív hőmérsékleti advekció (melegebb levegő szállítása a P megfigyelőhely fölé) (sematikus ábrázolás),
- b) negatív hőmérsékleti advekció (hidegebb levegő szállítása a P megfigyelőhely fölé) (sematikus ábrázolás),
- c) a hőmérsékleti advekció egyenlete (A_{12} dimenziója: $^{\circ}\text{C}/\text{időegység}$)

gradiens ismeretében a szélvektor változásának vektora (a termikus szél) kiszámítható.

A dinamikus meteorológiának ez a tétele megfordítható: ha a szélvektor valamely réteg alsó és felső határa között termikus hatások miatt változik (a szabad légkörben ezek a hatások érvényesülnek leginkább, a sűrűlási rétegben viszont a felszíni sűrűlási erő a termikus hatásokat a szélstruktúrában elnyomja), akkor a *szabad légkörben* a horizontális hőmérsékleti mezőnek nullától különböző gradiense létezik, az előző tételnek megfelelő irányítással: *a termikus szél irányába nézve bal kéz felé hidegebb, jobbra melegebb levegő van.* A réteg középhőmérsékletének az időegységre eső advektív megváltozása, az A_{12} hőmérsékleti advektió kiszámítható. Jó közelítéssel:

$$A_{12} = K \cdot v_1 v_2 \cdot \sin a,$$

ahol K a helyi adatokkal kifejezhető lokális konstans, v_1 a szélesség az alsó, v_2 pedig a felső szinten, a pedig a szélvektor elfordulása a réteg alsó és felső határa között. Ha a szél a magassággal jobbra fordul, *advektív melegedésre*, ellenkező esetben *advektív lehűlésre* következtethetünk (9. ábra).

Legalább 5 éves adatsorból kiszámítható egy-egy állomás fölött a szabad légkör alkalmasan választott rétegeiben a hőmérsékleti advektió, s ebből megkaphatók azok a *hőmennysé-*

gek, amelyeket az időegység alatt az egységnyi keresztmetszetű függőleges légoszlop az advektív felmelegedések, ill. lehűlések következtében az időköz átlagában befogadott, ill. leadott. Ezek algebrai összege a *légoszlop hőegyenlegét* fejezi ki a választott időtartamban. A 60-as évek első feléről a következőket állapíthattuk meg (voltaképpen Budapestre, de gyakorlatilag a Kárpát-medence légterére):

1. A troposzférának az advektív hőmérséklet-változásokban megnyilvánuló hőegyenlegét, az általános cirkulációnak megfelelően, a nyugati szélkvadránsokhoz kapcsolódó termikus advektív folyamatok határozzák meg. A keleti komponensű szelekkel átadott és elszállított advektív hő az előbbinek alig 20%-át tette ki.

2. A termikus advekciónak régebben megállapított (Bacsó, 1959) *hűtőhatását* csak a *nyári évszakban* találjuk meg (az Észak-Atlanti-óceán mérséklő hatásaként). Egyébként, különösen *ősszel és télen*, az *advekció melegíti a troposzférát*. A kontinentális és az óceáni hatás eredményeképpen adódó *évi advektív hőegyenleg kicsiny*, nagyságrendileg kisebb, mint az abszolút értékükben egymáshoz közeleső hőbevétel és hőleadás átlagai. Ezzel magyarázható az évi hőegyenleg előjelének statisztikailag *bizonytalan* volta és a különböző 5 éves időszakokban mutatott *változékonysága*.

TÖMEGÁTVITEL ÉS BELSŐ LÉGKÖRZÉS MAGYARORSZÁG LÉGTERÉBEN

Magyarország szélklímájának fontos kérdése a szélrendszerek általános tömegátviteli hatékonysága, beleértve az advektív anyagszállításnak (transzportfolyamatok) advektív átviteli kérdését is.

A transzportfolyamatok *hatékonysága* legegyszerűbben a szélrendszerek *eredő szélútjai*-val fejezhető ki. A feladathoz alkalmazkodva a szélrendszereket két csoportra osztjuk. Az egyik, ún. *átviteli csoport* a légtömegek, általában az anyag legrövidebb úton történő horizontális átvitelét biztosítja a kérdéses térségen át. Ennek a szélcsoportnak *eredő szélútja* (*átviteli szélút*) nyilván a megfigyelt szélvektorok eredőjének irányába eső szélutak összege. A másik csoport, a *turbulens légmozgások* összessége, a térség *belső cirkulációja*. Az átviteli szélút és a belső cirkulációval megtett szélutak összege megadja a térség összes szeleinek szélútját.

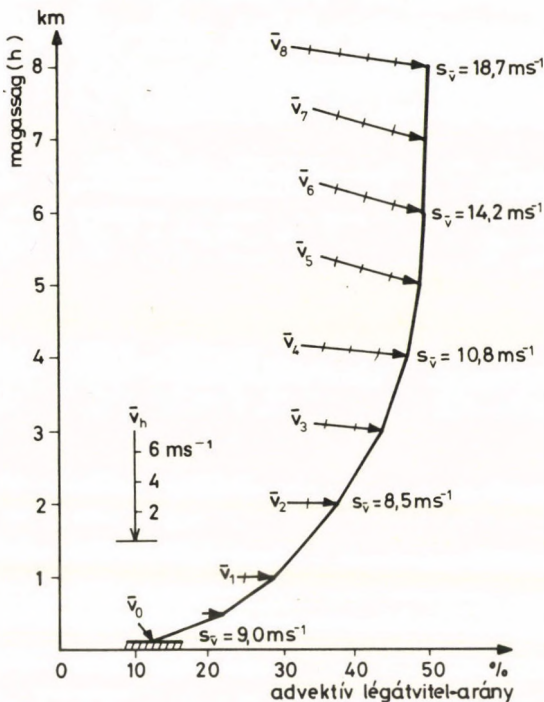
A *közepes légátvitel* számszerű kifejezésére megadhatjuk, hogy az eredő szélvektor irányába eső szélút hány százaléka az irányra való tekintet nélkül összegezett szélutaknak.

A *belső cirkuláció* transzportfolyamatának hatékonyságát nyilván az előbbi 100-ra

kiegészítő relatív érték adja meg. *Berkes* (1952) 6 állomás talajszél-adataiból arra következtetett, hogy Magyarországon a különböző irányú szélutaknak olyan *északnyugati* irányú évi eredőjük van, amely a szélutak összegének 12,5%-át teszi ki, azaz *a Kárpát-medencén átvonuló légtömegek szállítását az összes szelek 12,5%-a végzi a legrövidebb útszakaszon, a medence belső légkörzése pedig az összes légmozgások 87,5%-a.*

A vízszintes légátvitel és a belső cirkuláció aránya a magassággal jellegzetesen változik. Aeroklimatológiai vizsgálataink kimutatták (*Béll*, 1963), hogy Budapest és valószínűleg az egész Kárpát-medence fölötti advektív levegőátvitelben 1500 m magasságban a teljes cirkulációnak már 33%-a, 3 km fölött pedig 40–50%-a vesz részt (10. ábra). A belső cirkuláció részaránya természetesen ennek megfelelően csökken, és aszimptotikusan közeledik a troposzféra felső szintjeinek 50%-os határértékéhez.

Amint a 10. ábrán látjuk, az *advektív légátvitel* részaránya felfelé haladva az eredő szélvektorral együtt kezdetben erősebben, majd gyengébben növekszik a magassággal s közeledik az 50%-os határértékhez. A *vektoriális szórás* (s_v) — tudvalevőleg annak a körnek sugara, amely a közös kezdőpontból felrajzolt valamennyi összetevő szélvektor végpontjainak



10. ábra. Az advektív légátvitel részaránya (%) a teljes cirkulációban. Az évi eredő szélvektorok (\bar{V}_h) és szórásuk ($s_{\bar{v}}$) Budapest fölött

63%-át magában foglalja — meglehetősen nagy, ezért megállapításaink inkább *éghajlati* jelentőségűek, egyes esetekben ezektől jelentős eltéréseket tapasztalhatunk.

Budapest 1959–1962. évi rádiós szélméréseit (RW) a Kárpát-medencére értelmezve, a cir-

kulációs jellemzők évi átlagai alapján arra következtethetünk, hogy az ország területére belépő és azt összes tömegében elhagyó levegő belső transzportját a Kárpát-medence cirkulációja advektív átvitel és belső cirkuláció útján évi átlagban a troposzféra egyes szintjein *különböző hosszú* átviteli és belső cirkulációs útszakaszokon bonyolítja le (1. táblázat). A számított értékek a belső cirkulációnak a magassággal csökkenő turbulens jellegét mutatják.

1. táblázat

AZ ÁTVITELI ÉS A CIRKULÁCIÓS
SZÉLÚT ÉVI ÁTLAGA
MAGYARORSZÁG LÉGTERÉBEN
AZ ÖSSZES SZÉLÚT %-ÁBAN
(1959–1962)

magasság (km)	átviteli szélút (km)	cirk. szélút (km)	az átv. szélút rel. értéke (%)
talajszint	236	1652	12,5
0,5	344	1308	22,0
1,0	344	863	28,5
2,0	344	573	37,5
3,0	344	441	43,8
5,0	344	358	49,0
7,0	344	347	49,8
8,0	344	344	50,0

Arra a kérdésre, hogy a felszín közelében általában az alsó troposzférában az átviteli szakasznál jelentősen hosszabb, de ettől felfelé egyre kevésbé különböző *belső cirkulációs szélúton* a levegővel együtt transzportálódó anyagok milyen mértékben alakulnak át, esetleg maradnak Magyarország légterében, pusztán a széladatok nem adhatnak választ, a felelet a *levegőkémia* és a *légkörfizika* problémakörébe tartozik.

*

Összefoglalásul a hazai aeroklimatológiai vizsgálatok főbb eredményei a következők:

1. Az északi félgömb hőmérsékleti anomáliáiból, itt nem említett számítások alapján, arra lehetett következtetni, hogy az *50-es években* a maritim éghajlati hatás mélyen benyomult az eurázsiai kontinensre, s télen a *Turáni-alföldre*, nyáron pedig a *Havasalföldre* térségére terjedt ki. Ez a hatás Magyarország fölött 5 km magasságig volt kimutatható (*Béll*, 1967).

2. A 60-as, valamint a 70-es években is, a magassági szélmérések arra utaltak, hogy a permanens nyugati alapáramlástól elválasztott perturbációk (a ciklonális tevékenység és a domborzat hatásai) általában 3 km fölött elmosódnak, a felső troposzférában az áramlás kiegyenlítettebbnek adódott. Ez a jellegzetes

rétegződés a hőmérséklet függőleges profiljában is megmutatkozik (Béll, 1954).

3. A *hőmérsékleti advekció* értékei arra mutattak (Béll, 1980), hogy a *maritim* éghajlati jelleg a medence alsó troposzférájában a 60-as és valószínűleg a 70-es években is érvényesült, de *stabilitása* csekélynek adódott. Ez a körülmény nem zárja ki, hogy a következő évtizedekben *kontinentális* hatások érvényesüljenek a Kárpát-medencében, különösen télen.

4. A *Kárpát-medence teljes cirkulációjában* az átviteli és a belső cirkulációs komponensek a magassággal jellegzetesen változnak, részarányuk, különböző úthosszuk a transzportfolyamatok vizsgálatakor figyelembe veendő.

Végül egyetérthetünk abban, hogy a hazai pilotállomások több évtizedes adatsorai alkalmasak arra, hogy a Kárpát-medence áramlási terének szerkezetében még nyitva maradt számos kérdést, így a *hő- és anyagátvitel* részleteit, a medencében már felismert (Béll, 1978) *orografikus hullámokat*, a jellegzetes vergenciális viszonyokat (*tiszavölgyi konvergencia*) éghajlati vonatkozásban és módszerekkel tovább kutassuk, s ezzel közelebb jussunk a domborzatában rendkívül tanulságos és nemzetközi vonatkozásban modellként szolgáló *Kárpát-medence* megismeréséhez.

Befejezésül köszönetemet fejezem ki az *MTA Föld- és Bányászati Tudományok Osztályának*

1982-ben történt rendes taggá jelölésemért.
Meg vagyok arról győződve, hogy meg-
választásom tudományterületem eredményei-
nek megbecsülését is jelenti.

IRODALOM

- BACSO, N. (1959): *Magyarország Éghajlata*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- BERDE Á. (1847): *Légtüneménytan 's a' két Magyarhon égaljviszonyai*. Özv. Sarráné és Stein, Kolozsvár.
- BERÉNYI D. (1932): *Hegyi-völgyi szelek a Tiszántúlon*. Időjárás 36, 81–89.
- BERÉNYI D. (1933): *Die aerologischen und meteorologischen Verhältnisse im östlichen Teil der grossen ungarischen Tiefebene bei mediterranen Zyklonen*. Beitr. z. Ph. d. fr. Atm. 20, 84–102.
- BERKES Z. (1952): *Az eredő szélútvektor és a légátvitel Magyarországon*. OMI-Beszámolók 1952, 67–82.
- BERKES Z. (1959): *Az átlagos szélsébség és a sűrűség szorzatának magasság szerinti állandóságáról*. OMI-Beszámolók 1959, 22–26.
- BÉLL B. (1941): *A szabad légkör hőmérséklete Budapest fölött*. OMI Kisebb Kiadv. U.s. 40, 1–56.
- BÉLL B. (1954): *A troposzféra éghajlata Magyarország fölött*. OMI Kisebb Kiadv. 28, 1–63.
- BÉLL B. (1963): *Kontinentális és óceáni hatások az áramimpulzus függőleges változásában*. OMI-Beszámolók 1963, I. 6–13.
- BÉLL B. (1963): *A szabad légkör advektív hőforgalma a Kárpát-medence fölött*. Időjárás. 67, 65–74.
- BÉLL B. (1964): *Über den Einfluss der Alpen auf die Höhenwindverteilung in Westungarn*. Bericht über die VIII. Internat. Tagung f. Alp. Met. 158–164.
- BÉLL B. (1967): *Die vertikale Windänderung über Budapest im Zusammenhang mit der thermischen Advektion*. Ann. d. Met. N. F. Nr. 3. 81–85.

- BÉLL B. (1978): *Ungestörte orographische Wellen des Strömungsfeldes in der atmosphärischen Grenzschicht. Arbeiten aus der Zentr. Anst. f. Met. u. Geodyn.* 31, 61/1–61/7.
- BÉLL B. (1980): *Dreidimensionale klimatologische Eigentümlichkeiten des Zentralgebietes des Karpatenbeckens.* Zs. f. Met. 30, 215–219.
- BUCSY J. (1962): *Az optikai és rádioteodolittal végzett szélmerések összehasonlítása. OMI-Beszámolók* 1962, 13–23.
- HEGYFOKY KABOS (1894): *A szél iránya a Magyar Szent Korona országában.* Kir. M. TTT. Budapest.
- MARCZELL GY. (1916): *Aerológiai munkák 1913-ban.* Időjárás 20, 133–135.
- RÉTHLY A. (1970): *Időjárási események és elemi csapások Magyarországon 1701–1800.* Akadémiai Kiadó, Budapest.
- RÓNA ZS. (1909): *Éghajlat, Magyarország Éghajlata.* Kir. M. TTT. Budapest.
- SZÁVA-KOVÁTS J. (1952): *Általános Légekörtan.* Tankönyvkiadó, Budapest.
- TÓTH G. (1933): *Az Északi Kárpátok védő és eltérítő hatása északi szelekkel szemben.* Időjárás 37, 69–73.
- WAGNER R. (1941): *A magyar Alföld szélviszonyai.* Szegedi Nyomda.

A kiadásért felel az Akadémiai Kiadó és Nyomda főigazgatója

Felelős szerkesztő: Klaniczay Júlia

A tipográfia és a kötésterv Löblin Judit munkája

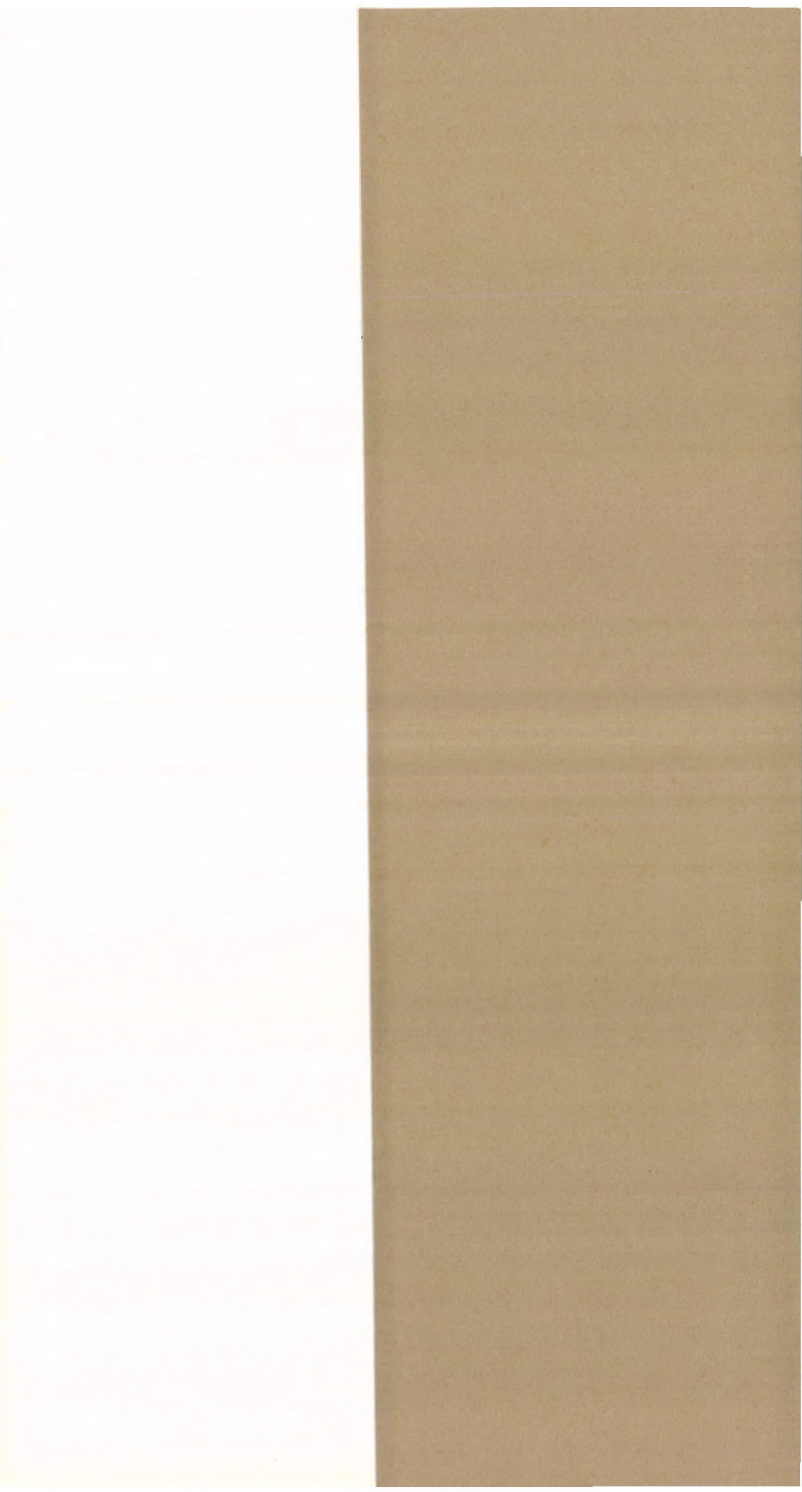
Műszaki szerkesztő: Érdi Júlia

Terjedelem: 1,98 (A/5) ív AK 1627 k 8487

HU ISSN 0236-6258

13.081 Akadémiai Kiadó és Nyomda

Felelős vezető: Hazai György



Ára: 16,- Ft